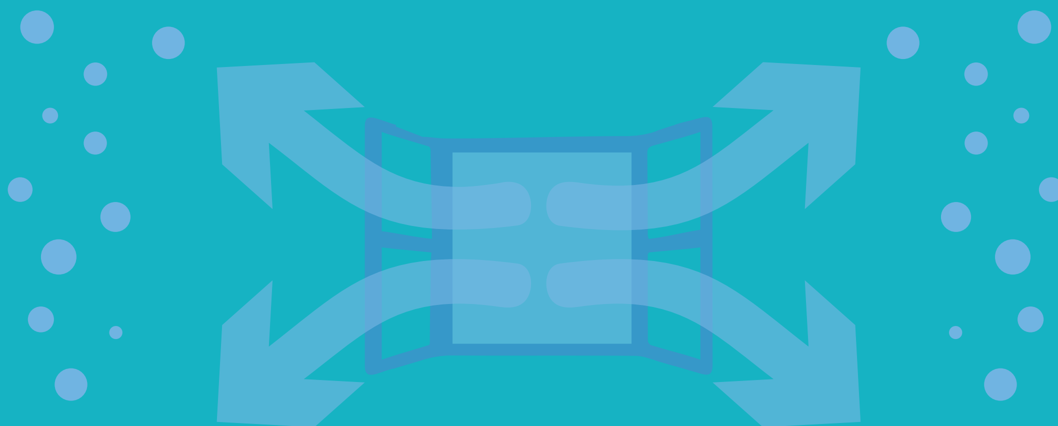
JUNIO 2021



Ventilación y uso de medidores de Dióxido de Carbono



Guía de recomendaciones para la **prevención de transmisión de COVID-19** por aerosoles en las escuelas de la provincia de Buenos Aires.


Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
Argentina

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, CIENCIA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA | MINISTERIO DE SALUD | DIRECCIÓN GENERAL DE CULTURA Y EDUCACIÓN


GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES


Ministerio de Educación
Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HURLINGHAM

Guía de recomendaciones para la prevención de transmisión de COVID-19 por aerosoles en las escuelas de la provincia de Buenos Aires. Ventilación y uso de medidores de dióxido de carbono.
Junio 2021

CONTENIDO

Introducción

La iniciativa “Buenos Aires en las Escuelas” se enmarca en las políticas de regreso seguro y cuidado a las clases presenciales y se desarrolla conjuntamente entre la Dirección General de Cultura y Educación, el Ministerio de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica y el Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio de Educación de la Nación. **Su objetivo es contribuir a la prevención de transmisión de COVID-19 por aerosoles en las escuelas de la provincia de Buenos Aires, a través de la promoción de la ventilación natural y el uso de medidores de dióxido de carbono.**

Las recomendaciones que se brindan en esta Guía están basadas en la evidencia científica actualmente disponible y abordan medidas generales de prevención de la transmisión de COVID-19 por aerosoles tanto en ambientes exteriores como interiores, concentrándose en las escuelas.

La Guía actualiza, refuerza y amplía los contenidos expuestos en el “*Plan Jurisdiccional de la provincia de Buenos Aires para un regreso seguro a las clases presenciales – Actualización para el inicio de clases 2021*” (Res. Conjunta 10/2021 de la Dirección General de Cultura de Educación, del Ministerio de Salud y del Ministerio de Jefatura de Gabinete), especialmente en su *Anexo VIII*, que contiene recomendaciones generales para una adecuada ventilación. Para su elaboración, se ha contado con los valiosos aportes de investigadores de universidades públicas y del CONICET.

Asimismo, proporciona elementos para mitigar el riesgo de contagio a distancia (es decir, a más de 1,5 o 2 metros de una persona infectada) en ambientes interiores, considerando que estos espacios son propicios para generar eventos de súper contagio (donde una persona contagia a muchas). **La manera más sencilla y efectiva de reducir la acumulación de aerosoles en interiores es a partir de la ventilación natural o mecánica**. Esto implica renovar el aire interior con el aire exterior. Así, disminuye la concentración de las partículas en el aire a valores suficientemente bajos y reduce el riesgo de transmisión de virus del COVID-19 y otros de índole respiratoria.

Considerando la eficacia y la relevancia de mejorar la ventilación en las aulas, el Gobierno de la provincia de Buenos Aires resolvió adquirir y distribuir medidores de dióxido de carbono (CO2) a todas las escuelas estatales de la provincia. Estos dispositivos permiten medir la can-

tidad de CO_2 de los ambientes interiores y, a partir de ello, monitorear la correcta ventilación.

Las pautas para mejorar la ventilación que se reforzarán a partir de la Iniciativa "Buenos Aires en las Escuelas" son complementarias, y de aplicación simultánea, a las demás medidas de cuidado en las escuelas, como el aforo resultante del distanciamiento social, el uso de tapabocas y máscaras de acetato, la higiene frecuente de manos, la conformación de grupos de personas que evitan interacciones, el diagnóstico oportuno, el rastreo y aislamiento de contactos estrechos.

Se trata de incorporar medidas que contribuyan a enfrentar esta pandemia, fortaleciendo el cuidado de las y los estudiantes y del conjunto de las y los trabajadores que habitan cotidianamente las escuelas de la Provincia de Buenos Aires.

1. Mecanismos posibles de transmisión del virus del COVID-19

La evidencia científica conocida hasta el momento señala que existen diferentes mecanismos posibles para la transmisión del virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19.

1) AEROSOLES: son partículas muy pequeñas (< 100 µm) exhaladas a través de la nariz y la boca al respirar, hablar, cantar, comer, toser, estornudar, etc. Estas partículas quedan suspendidas en el aire y, en caso de contener el virus, pueden contagiar a otra persona al ser inhaladas.

Es importante recordar que la cantidad de aerosoles producidos por una persona (o emisión) aumenta con el tono de voz y con la actividad física. Es decir, una persona sentada y callada, emite menos aerosoles que otra que está saltando y gritando.

Sumado a esto, la exposición a aerosoles aumenta cuanto más cerca estamos frente a la persona que los emite, pudiendo dar lugar al contagio en proximidad. Las principales medidas para prevenir este tipo de contagios son el distanciamiento social (mínimo de 2 metros en espacios comunes y, dentro del aula, de 1,5 metros entre estudiantes y de 2 metros en relación al docente) y el uso correcto del tapabocas.

Sin embargo, en un ambiente interior, el virus causante del COVID-19 se puede transmitir a una distancia mayor a través de aerosoles que permanecen en el aire y se acumulan si la ventilación del lugar no es suficiente, con el riesgo que sean inhalados por otras personas (contagio a distancia). La medida más efectiva para evitar esto es la ventilación. Asimismo, se aconseja la reducción del tiempo de permanencia de varias personas no convivientes en un mismo espacio.

La transmisión del virus SARS-CoV-2 por aerosoles es una de las principales vías de contagio.

2) GOTAS: son aerosoles de gran tamaño (> 100 µm) principalmente emitidos al estornudar o toser, que pueden impactar sobre los ojos, nariz o boca de una persona que se encuentra cerca. Debido a su gran tamaño, además las gotas se depositan sobre cualquier superficie, en general, dentro de los 2 metros de distancia.

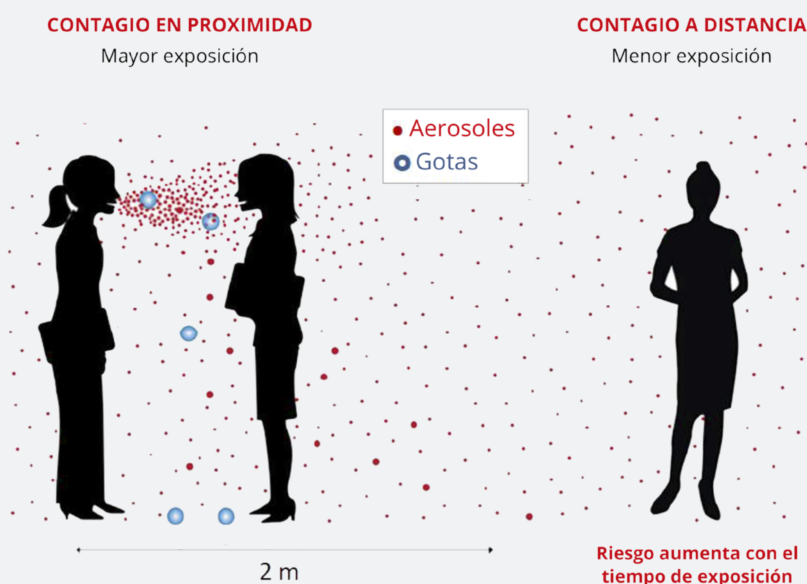
Por lo tanto, las gotas pueden causar contagio directamente por impacto sobre la cara o indirectamente por depositarse en superficies (ver Fómites).

3) SUPERFICIES O FÓMITES: La transmisión por esta vía se genera al tocar algún objeto o superficie que está contaminado con el virus y luego al llevar la mano a los ojos, nariz o boca. La principal medida de prevención para esta situación es el lavado frecuente de manos con agua y jabón o la desinfección con alcohol en gel o al 70% y la limpieza frecuente de objetos y espacios. Este mecanismo de transmisión es posible pero poco frecuente[1].

Como muestra la Figura 1, el contagio en proximidad puede ocurrir durante un tiempo relativamente corto, debido a que tanto la exposición a gotas como a aerosoles es alta si una persona se ubica cerca de otra infectada. Lógicamente, las probabilidades de contagio son mucho menores si ambas personas mantienen la distancia social y utilizan adecuadamente el tapabocas.

Si el tiempo de exposición es prolongado, es decir, al permanecer durante un largo tiempo en el mismo ambiente que una persona infectada, es posible inhalar suficiente cantidad de aerosoles, y que se transmita el SARS-CoV-2, a pesar de haber estado a más de dos metros de distancia. Cuanto más ventilados estén los ambientes, menor será la probabilidad de contagio, debido a que la ventilación ayuda a diluir la concentración de aerosoles.

Figura 1: Riesgo de contagio según la distancia a la persona infecta



Fuente: adaptación de la Figura 1 en Tang et al. (2021)

1. Véase, por ejemplo: https://www.nature.com/articles/d41586-021-00251-4, https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-

2. Formas de transmisión de COVID-19 por aerosoles según tipos de ambiente

El riesgo de transmisión surge de la combinación entre distintas variables:

i) PRESENCIA DEL VIRUS: La probabilidad de que haya una persona infectada en un ambiente aumenta con la transmisión comunitaria y con la cantidad de personas presentes. La utilización de tapabocas contribuye tanto a reducir la emisión de aerosoles como la cantidad de personas que se puedan infectar en caso de ocurrir un evento de super contagio. El uso correcto del tapabocas (cubriendo nariz y boca, con buen ajuste a toda la cara) en forma permanente disminuye significativamente el riesgo de transmisión.

ii) AMBIENTE PROPICIO: Las principales condiciones del ambiente que influyen en la transmisión aérea de COVID-19 son el tamaño del lugar y la ventilación. En ambientes con poca ventilación, los aerosoles tenderán a acumularse, mientras que en lugares con buena circulación de aire exterior la concentración de aerosoles se diluye. De esta forma, lugares más grandes y con mayor ventilación reducen el riesgo de contagio.

iii) TIEMPO DE EXPOSICIÓN: un prolongado tiempo de exposición en ambientes cerrados compartidos con personas incrementa el riesgo de transmisión. Por esta razón, los bloques de clases no deben superar los 90 minutos y, en todos los ámbitos, se recomienda no realizar eventos/reuniones que impliquen tiempos prolongados de estadía en ambientes cerrados.

Es importante destacar que el riesgo cero no existe. No obstante, el cumplimiento de todas las medidas de cuidado ante el COVID-19 genera menores niveles de riesgo de contagio.

En todos los casos, las condiciones de transmisibilidad estarán condicionadas por la situación epidemiológica de cada localidad, la cantidad de personas en el ambiente, el tono de voz y el tipo de actividad que llevan adelante.

Considerando las variables mencionadas, se presentan tres tipos de ambientes según la ventilación, ordenados de menor a mayor riesgo de contagio de COVID-19 mediante aerosoles.

- AMBIENTE EXTERIOR

En ambientes exteriores -al aire libre- el riesgo de transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles es menor a la de los ambientes interiores, dado que el viento contribuye a la dispersión de estos aerosoles. En actividades al aire libre, el riesgo de transmisión disminuye, pero no desaparece. Puede haber riesgo de contagio en proximidad o en situaciones de emisión elevada, sobre todo en condiciones de aire quieto. Por tanto, **al aire libre, la distancia física y el uso correcto del tapabocas siguen siendo métodos necesarios de prevención.**

- AMBIENTE INTERIOR VENTILADO

En los ambientes interiores, como las aulas, el riesgo de transmisión por aerosoles siempre es mayor que en el exterior, pero si se cuenta con una ventilación que permita un recambio de aire este riesgo se reduce significativamente, siempre que además se utilice correctamente el tapabocas, y se mantenga el distanciamiento físico.

- AMBIENTE INTERIOR SIN VENTILACIÓN

Estos ambientes son los más riesgosos para la transmisión de SARS-CoV-2 dado que acumulan aerosoles que pueden aumentar sustancialmente las probabilidades de inhalar aire con presencia de virus, al compartir el ambiente con una persona infectada.

En las escuelas no debe haber más de una persona a la vez en oficinas u otros espacios sin ningún tipo de ventilación. Al compartir un espacio sin ventilación, aunque sea en distintos momentos, debe tenerse en cuenta que los aerosoles pueden permanecer infectivos en el aire hasta tres horas aproximadamente, por lo que el tapabocas debe usarse en todo momento, aún cuando las personas estén solas en un espacio que luego será usado por otras.

3. Recomendaciones para evitar el contagio por aerosoles

3.1. Pautas generales

Al compartir cualquier espacio (interior o exterior) en las escuelas, se deben adoptar siempre las siguientes medidas de prevención:

- **Usar tapabocas de al menos 3 capas de tela**, respirable con buen ajuste cubriendo nariz y boca[2]. No sacarse el tapabocas para hablar.
- **Mantener la mayor distancia posible**, como mínimo de 2 metros en espacios comunes y de 1,5 metros entre estudiantes y de 2 metros con el docente dentro de las aulas.[3] •
- **Evitar aglomeraciones** en pasillos y espacios comunes.
- **Toser y estornudar en el pliegue del codo**.

Se recomienda que, cada vez que sea posible, las actividades grupales se realicen al aire libre o en espacios cerrados con adecuada ventilación donde sea posible mantener una mayor distancia física. Al respecto, hay que considerar que hay actividades que poseen mayor riesgo de contagio, por ejemplo:

- Hablar en voz alta, varias personas a la vez.
- Comer.
- Cantar o usar instrumentos de música de aire.
- Hacer deportes/actividad física (evitando deportes de contacto).

Para evitar la transmisión por fómites se recomienda:

- Higienizar frecuentemente las manos con agua y jabón y/o con alcohol en gel o alcohol al 70%.

2. Sobre el uso correcto del tapabocas, véase: https://www.argentina.gob.ar/salud/coronavirus/poblacion/barbijo.
3. Se recomienda un aforo de una persona cada 2,25 a 4 metros cuadrados, lo que implica una distancia interpersonal mínima (considerando como punto de referencia el rostro) de entre 1,5 y 2 metros.

- Evitar tocarse la cara con las manos.
- Limpiar regularmente objetos y superficies.

Además, en aulas y otros ambientes interiores, se deben adoptar las siguientes medidas de cuidado:

- La cantidad de personas no debe exceder lo que habilita el cumplimiento de la distancia social, dado que esto reduce el riesgo tanto de contagio por proximidad como de contagio a distancia.
- Los bloques de clases no deben exceder los 90 minutos.
- Ventilar siempre, todo lo que sea posible, de manera continua.

3.2. La importancia de la ventilación en espacios interiores

La ventilación es la renovación del aire de los espacios interiores mediante aire procedente del exterior, ya sea de manera directa o indirecta, a través de otro espacio interior ventilado.

En el contexto del COVID-19, se debe incorporar la ventilación como una medida de protección adicional a las recomendaciones generales de prevención (uso de tapabocas y nariz, distancia física, higiene de manos, evitar interacciones entre distintos grupos, etc.).

> La correcta ventilación de los espacios interiores también ayuda a reducir la transmisión de otras enfermedades habituales (como la bronquiolitis y otras enfermedades respiratorias) y a generar ambientes más saludables en las escuelas.

Los espacios cerrados propician la concentración de virus en el aire, que podría producirse por la exhalación de una persona infectada con el virus del COVID-19 (aun cuando es asintomática y no presenta ningún tipo de malestar). Por ello, es necesario renovar el aire interior con el ingreso de aire exterior (que está libre de virus): **cuanto mejor sea la ventilación más se reducirá el riesgo de contagio**.

La renovación del aire dentro de los espacios cerrados depende significativamente de la

cantidad, distribución y tipo de aberturas (puertas y ventanas), de la velocidad y dirección del viento, de la diferencia de temperatura entre el aire interior y el aire exterior[4] y, si los hubiera, de los dispositivos de ventilación mecánica[5].

Por su parte, las necesidades de ventilación dependen del tamaño del ambiente, de la cantidad y las características (edad, contextura, etc.) de las personas que lo ocupan y del tipo de actividad que se realice.

PAUTAS PARA UNA ADECUADA VENTILACIÓN DE LAS AULAS



La mejor herramienta para garantizar una adecuada ventilación de los ambientes interiores es la utilización correcta de la ventilación natural por puertas y ventanas.

A continuación, se protocoliza un conjunto de pautas para tal fin:

- Toda apertura de puertas y ventanas ayuda a renovar el aire interior y a evitar que se acumulen aerosoles. Ciertas características de la ventilación permiten que el aire se renueve más rápidamente.

  Por ejemplo, la ventilación cruzada (entre ventanas y puertas en lados opuestos del ambiente) es más eficiente que la ventilación entre aperturas ubicadas de una misma pared; de igual modo la ventilación que proviene del aire libre es más efectiva que la proveniente de un pasillo de circulación interna del edificio.

  Deben evaluarse las características del ambiente interior, la situación climática y las posibilidades de ventilación (tipo, tamaño y ubicación de las aberturas) y, en base a ello, procurar llevar adelante la mejor estrategia de ventilación posible**.** Cuantas más puertas y ventanas estén abiertas, y más distribuidas estén, mejor.

---

4. El viento tiende a aumentar la tasa de ventilación y, en días ventosos, se debería lograr un nivel similar de ventilación con menor apertura de ventanas. Del mismo modo, cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura interior y exterior, más circulará el aire.
5. La ventilación natural es la que se produce al abrir puertas y/o ventanas, mientras que la ventilación mecánica o forzada es aquella en la que se utiliza algún tipo de energía para desplazar el aire, como un ventilador o un equipo de climatización.

- Abrir las puertas y las ventanas en la mayor medida posible siempre que haya personas presentes.
- Mantener la apertura de puertas y ventanas de manera continua genera un flujo de aire permanente, sin que se acumulen aerosoles, que es más efectivo que realizar aperturas intermitentes.
- En escenarios de bajas temperaturas, contaminación sonora u otras contingencias, procurar mantener abiertas las ventanas como mínimo 5 centímetros de manera constante.
- Si es absolutamente imprescindible, se puede reducir la ventilación, pero por pocos minutos.
- Para lograr una **ventilación distribuida** es conveniente mantener varias ventanas con una apertura de 5 cm o más en vez de mantener una sola ventana muy abierta. Por ejemplo, si en un aula hay tres ventanas, es preferible abrir las tres 20 centímetros y no solo una de ellas 60 centímetros.
- La ventilación de los pasillos y otras áreas de circulación garantiza el ingreso de aire desde el exterior. Cuanto más ventilado esté el aire de los pasillos, más segura será la renovación del aire de cada aula.
- Es muy importante reforzar las tareas de ventilación al inicio de la jornada, al finalizar y entre turnos o bloques de clases, aprovechando especialmente los momentos de recreo o descanso para la apertura total de todas las aberturas del aula.
- Los sistemas centrales de ventilación, calefacción o aire acondicionado que posean las escuelas deben estar en funcionamiento de manera permanente, procurando el mayor recambio de aire exterior posible, y si es factible desde unos minutos antes de la ocupación del ambiente. Siempre es importante verificar que estos sistemas tengan un mantenimiento periódico que garantice su adecuado funcionamiento.
- Los sistemas de calefacción independiente, como las estufas, que poseen las aulas pueden continuar utilizándose en la forma habitual, siempre que haya una correcta ventilación mediante la apertura de las aberturas. La calefacción se debe conectar algunas horas antes de la ocupación del aula.

- En caso de que las escuelas posean extractores[6], los pueden utilizar para renovar el aire.
- Utilizar ventiladores para incrementar la velocidad de intercambio del aire interior-exterior, siempre con ventanas y/o puertas abiertas y evitando que se genere un flujo de aire directo entre las personas que están dentro del ambiente, porque esto podría provocar que si hay aire contaminado vaya directamente de una persona a otra. En este mismo sentido, cada vez que sea posible, resulta importante considerar la ubicación de los ventiladores. En caso de que se posean ventiladores de pie o similares, se pueden ubicar cerca de una ventana, direccionando el aire hacia ella, con el objetivo de extraer el aire del aula hacia el exterior.[7]

6. Un extractor es un ventilador colocado en una abertura que extrae mecánicamente el aire interior del ambiente hacia el exterior. Un ejemplo son los extractores que usualmente se colocan en los baños.
7. Para una efectiva ventilación se requiere un intercambio de aire con el exterior. Ventiladores y aires acondicionados tipo split en un ambiente cerrado no renuevan el aire, solo recirculan el aire interior y no aportan a su renovación, por lo tanto, las concentraciones de aerosoles pueden aumentar significativamente en ambientes climatizados por estos equipos, si no se garantiza la adecuada ventilación con el exterior. Tanto los aires acondicionados como los ventiladores producen cierta agitación del aire interior, por eso, en caso de usarlos, es necesario garantizar siempre que las puertas y ventanas se mantengan abiertas.

4. El monitoreo de dióxido de carbono en las aulas

Los medidores móviles de dióxido de carbono (CO_2) permiten constatar en forma continua, rápida y eficaz que el aire de los ambientes se renueva de manera permanente y a través de una ventilación adecuada. Asimismo, permiten advertir la necesidad de optimizar las condiciones de ventilación o de intervenir para mejorar la renovación del aire.

4.1. Consideraciones generales

El CO_2 actúa como un indicador del grado de estancamiento del aire interior. Al respirar, junto con los aerosoles, las personas exhalan CO_2, por lo que la acumulación de este gas es un muy buen indicador de la acumulación de aerosoles (que pueden ser infectivos si hay alguien en periodo de contagio en el aula).

El monitoreo del CO_2 permite regular el nivel de apertura de las puertas y ventanas necesario para un ambiente interior en función de las condiciones meteorológicas (especialmente del viento), la cantidad de personas que lo habitan y el tipo de actividad que se realiza.

El nivel del CO_2 en un ambiente interior depende de varios factores. Normalmente, al aire libre se encuentra CO_2 en una concentración de **400 partes por millón (ppm)**. Este nivel puede ser variable, por ejemplo, en zonas urbanas con presencia de industrias o en edificios linderos a arterias con alto tránsito vehicular puede ser más elevado. También la concentración de este gas puede modificarse en diferentes épocas del año.

En un mismo edificio, la presencia o cercanía de fuentes de calefacción o de cocción, las filtraciones en las paredes, etc., pueden dar lugar a diferentes niveles de CO_2 en los ambientes por más que no estén ocupados por personas.

El nivel de concentración de CO_2 de un ambiente sin ocupación de personas, es lo que se denomina **nivel de base de CO_2**.

Las personas emiten CO_2 al exhalar el aire que respiran, con distinta intensidad de acuerdo con sus características físicas, metabolismo y actividad realizada. Mientras que el aire que se inspira tiene aproximadamente 78,0% de Nitrógeno, 20,7% de Oxígeno, 0,04% de CO_2 y 1,3%

de otros gases, el que se espira contiene 75,5% de Nitrógeno, 14,6% de Oxígeno, 4% de CO2 (40.000 ppm) y 5,9% de otros gases. Dentro de ese 5,9% de otros gases se encuentran agua y sales que pueden contener virus si la persona está contagiada.

Cuando en un ambiente interior el CO_2 aumenta en 400 partes por millón por sobre el nivel de base del ambiente, producto de la respiración de las personas que ocupan ese espacio, se estima que, aproximadamente, el 1% del aire que se respira ya fue respirado por otra persona. Por esta razón, el umbral de concentración de CO_2 que actualmente se recomienda como indicador de una ventilación adecuada es de 400 ppm por sobre el nivel de base.[8]

El riesgo de transmisión por la vía de aerosoles será menor cuando el nivel de CO_2 durante el transcurso de la clase se aproxime al que ya tenía el aire de ese espacio antes de ser ocupado. Así como el termómetro se utiliza para medir la temperatura, se pueden usar los dispositivos para la medición del CO_2 como un indicador de la proporción del aire que ya fue respirado por otras personas.

En otras palabras, cuando la concentración de CO_2 se incrementa en 400 ppm por sobre la medición con el aula vacía (medición de base o medición basal)[9], se debe actuar para mejorar la ventilación.

---

8. Cabe indicar que la definición de este umbral es una convención, es decir, el producto de un acuerdo entre científicos y expertos en base la evidencia actual y que, por lo tanto, puede ser pasible de ser modificado en el futuro.
En este sentido, cabe resaltar que se utiliza este parámetro de modo orientativo. Es decir, no implica que por debajo de ese valor sea seguro (por que es mejor 0,5% que 0,9%) y que por encima del mismo no lo sea (porque es mejor 1,5% que 10% respirado por otras personas).
Es importante destacar que el hecho de que el 1% del aire ya haya sido respirado por otra persona no es sinónimo de que existe 1% de riesgo de contagio:
Si ninguna de las personas presentes en el ambiente está en periodo de contagio de COVID-19, no existe riesgo de contagio independientemente del nivel de concentración de CO2 y de la ventilación: al desconocerlo de antemano, y en esto se basan todas las medidas preventivas, siempre se debe actuar como si hubiera contagiados en el ambiente (lógicamente, cuanto mayor sea el nivel de transmisión comunitaria, mayor será la probabilidad que haya enfermos asintomáticos en un grupo de personas).
Del mismo modo, si una persona sí está en periodo de contagio, y el CO2 producto de la exhalación humana aumenta, no implica un mismo nivel de riesgo para todas las personas que ocupan el aula, dado que quienes se sientan más cerca de la persona en fase de contagio estarán más expuestas que las que se sientan más lejos.
En cualquier caso, ante iguales circunstancias en términos de presencia de personas contagiadas asintomáticas, la renovación del aire, junto con las otras medidas de prevención y cuidado, permite reducir, aunque no eliminar, las posibilidades de contagio.

9. En buena parte de las recomendaciones realizadas por los expertos para garantizar la renovación del aire en contexto de COVID-19, se hace mención a un umbral fijo, habitualmente de 800 ppm de CO2 para los espacios interiores. Cabe señalar que la mención a dicho valor tiene por finalidad simplificar la transmisión del mensaje a un público amplio. Tal recomendación surge de adicionar las 400 ppm que implican que el 1% del aire ya fue respirado, a las 400 ppm que representan el valor promedio o habitual en que este gas se encuentra en la naturaleza. Pero, como se mencionó, dado que el valor basal puede variar en función de un conjunto de factores (incluso un mismo aula puede presentar diferentes valores iniciales en momentos de tiempo distinto), resulta más preciso para el fin de monitorear la ventilación considerar la variación de la medición durante la clase con relación al valor basal.

Debe considerarse que, independientemente de la fuente de emisión del CO_2 (presencia natural en la atmósfera, combustión, respiración humana), cuando se supera un determinado nivel de concentración de este gas en un espacio interior, comienza a generar incomodidades físicas. Si bien el CO_2 comienza a ser perjudicial para la salud a partir de niveles de concentración muy elevados (50.000 mil partes por millón), en niveles mucho menores (a los que se arriba fácilmente en espacios interiores sin ventilación exterior) comienza a producir molestias, como dolor de cabeza, cansancio, pérdida de concentración y bajo rendimiento.

Para evitar esto, existe consenso en que es deseable que el nivel de CO_2 en escuelas, hogares, oficinas, etc. se ubique por debajo de las 1.000/1.500 ppm en ambientes interiores.[10]

Como muestra la Figura 2, el valor de CO_2 a partir del cual se debe procurar mejorar la ventilación difiere según las condiciones iniciales del aula (sin personas presentes). Así, para un aula donde la medición de base arroje 350 ppm, el valor de alerta mientras transcurra la clase será de 750 ppm, mientras que para un aula donde la medición de base indique 650 ppm, el valor de alerta será de 1050 ppm.[11]

10. La legislación nacional establece que la concentración media ponderada en el tiempo de CO2 para una jornada normal de trabajo de 8 horas/día y una semana laboral de 40 horas, a la que se cree pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos (CPM) es de 5.000 ppm. La norma UNE-EN15251 de España establece un valor aconsejado de CO2 para aulas de 500 ppm por sobre el nivel base. La norma ASHRAE 62-1989 de Estados Unidos recomienda un valor máximo de 600 ppm por sobre el nivel base para cualquier habitación y valores similares se han fijado en Japón.

11. Lógicamente, no es necesario esperar a que la medición se incremente al 400 ppm para actuar. Partiendo de que la situación ideal es que durante la clase la medición del CO2 se mantenga en niveles similares a los del aula vacía (lo cual es posible cuando hay buena ventilación), cuando la medición muestre un aumento de 250 o 300 ppm es recomendable abrir un poco más puertas y ventanas para procurar que el valor descienda o se estabilice.

Figura 2: Ejemplos de niveles de alerta para un conjunto hipotético de aulas ante el aumento de la concentración del dióxido de carbono por la respiración humana

Escuela	Baja temperatura	Medición de base (aula vacía)	Incremento de CO_2 con aula ocupada por personas (efecto de respiración humana)																															
			25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400 (Umbral Ventilación adecuada)	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800
Escuela 1	Aula 1	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200
	Aula 2	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250
	Aula 3	430	455	480	505	530	555	580	605	630	655	680	705	730	755	780	805	830	855	880	905	930	955	980	1005	1030	1055	1080	1105	1130	1155	1180	1205	1230
	Aula 4	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250	1275	1300
Escuela 2	Aula 1	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150
	Aula 2	410	435	460	485	510	535	560	585	610	635	660	685	710	735	760	785	810	835	860	885	910	935	960	985	1010	1035	1060	1085	1110	1135	1160	1185	1210
	Aula 3	360	385	410	435	460	485	510	535	560	585	610	635	660	685	710	735	760	785	810	835	860	885	910	935	960	985	1010	1035	1060	1085	1110	1135	1160
	Aula 4	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250
Escuela 3	Aula 1	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250	1275	1300	1325	1350
	Aula 2	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250	1275	1300	1325	1350	1375	1400
	Aula 3	570	595	620	645	670	695	720	745	770	795	820	845	870	895	920	945	970	995	1020	1045	1070	1095	1120	1145	1170	1195	1220	1245	1270	1295	1320	1345	1370
	Aula 4	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250	1275	1300	1325	1350	1375	1400	1425	1450
Riesgo de contagio por concentración de aerosoles *(si hay personas en período de contagio)*		Muy bajo					Bajo							Medio bajo				Medio Alto ---> Muy alto																

En el caso de los pasillos de circulación y otros espacios no ocupados en forma permanente, debe procurarse que, durante el periodo de funcionamiento de la escuela, la concentración de CO_2 no se incremente en más de 150/200 ppm con relación al valor que arroja el espacio exterior, de modo de garantizar la renovación del aire que ingrese desde los pasillos u otros espacios no ocupados a las aulas.

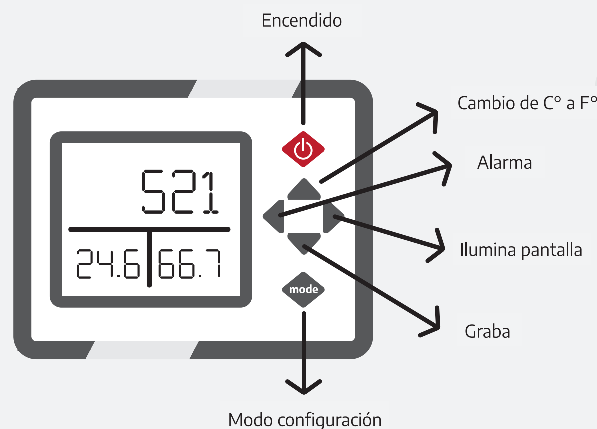
4.2. ¿Cómo realizar las mediciones de CO_2 en las aulas?

El medidor de CO_2 es un dispositivo muy simple de usar. No obstante, dado que cada modelo tiene sus particularidades, es importante que previo a su utilización se lea atentamente el Manual de Uso.[12]

12. El dispositivo de medición funciona enchufado a la red eléctrica o con pilas o baterías, según el modelo. Hay que considerar las siguientes recomendaciones para el cuidado de los equipos: no se los debe golpear ni mojar. Se deben guardar en sitios alejados de fuentes de calor, así como evitar exponerlos a la luz solar directa y en los ambientes con polvo. Los medidores cuentan con otras funciones, como alarma programable para un determinado nivel de CO2 o la posibilidad de descargar la información a una computadora mediante la conexión por cable USB.

Al encenderlo, luego de un breve lapso de precalentamiento, comenzará a mostrar en pantalla los valores relativos al nivel de CO_2 y de otras variables (temperatura, porcentaje de humedad relativa).

Figura 3: Pantalla y funciones de un medidor de dióxido de carbono (marca *HTI, modelo HT 2000*)



Al momento de realizar las mediciones, deben atenderse las siguientes pautas, de modo que los valores obtenidos sean representativos de la situación que se procura conocer.

¿DÓNDE UBICAR EL MEDIDOR DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL AULA?

- **A un metro y medio o más de distancia de las personas** (distancia social establecida dentro del aula). Al respecto es importante considerar que si se ubica cerca de las personas se podría alterar la medición, pues los dispositivos son muy sensibles a toda fuente de CO_2, incluida la exhalación directa.
- **A una altura de un metro o un metro y medio del piso** (esto es, a la altura de donde habitualmente se ubican las cabezas de las personas sentadas o paradas respectivamente). Para lograr esto, puede ubicarse una silla (u otro elemento que cumpla la misma función) sobre una mesa o pupitre (que, normalmente, tiene una altura de 90 centímetros).
- **Lo más alejado posible de puertas y ventanas**, de ductos de ventilación y fuentes de calefacción.
- De ser posible, ubicarlo aproximadamente en el **centro del aula**[13].

13. No obstante, sobre todo ante situaciones donde la medición indique incrementos cercanos al umbral de 400 ppm, resulta conveniente que se realicen otras mediciones en distintos lugares del aula, especialmente en aquellos espacios donde se sospeche que hay menor ventilación. En cualquier caso, tenga presente que

¿CÓMO REALIZAR LA MEDICIÓN?

- Ventilar bien el aula antes de iniciar la medición (lo más posible). La medición de base debe realizarse sin presencia de personas dentro del aula y con el ambiente preparado del mismo modo en que se desarrollarán las clases: con la puerta y las ventanas en una posición fija y, si fuese necesario, con la calefacción o refrigeración encendida[14]. Si es posible, evitar realizar la medición cuando las condiciones del viento sean atípicas (si es que la puerta o alguna de las ventanas da al aire libre).
- Encender y, si corresponde, aguardar el tiempo de precalentamiento. El medidor demora en estabilizarse, por lo que es aconsejable no prenderlo y apagarlo entre mediciones.
- Al comenzar la medición, el valor de CO_2 puede oscilar entre +/- 50 ppm durante dos minutos. Si se observa un cambio de la concentración de CO_2 mayor a las 50 ppm, que es la resolución del medidor, significa que el valor está cambiando y que se debe esperar a su estabilización.[15]
- Registrar el valor de CO_2 de la medición inicial (previa al ingreso de personas al aula). Este es el valor de base contra el cual se deberán comparar los valores que se registren durante el transcurso de la clase.
- Monitorear y registrar el valor del CO_2 durante distintos momentos de la clase (como mínimo, al promediar el bloque de clases y al finalizar el mismo, es decir, antes del recreo o de la finalización de la jornada escolar).

¿CUÁNDO MEDIR?

- **Realizar dos mediciones iniciales de CO_2 en el aula por cada grupo de estudiantes** (una vez por semana durante dos semanas consecutivas en las que cada grupo tenga clases). Si en un aula tiene clases una sección por la mañana y otra por la tarde, debe realizarse una medición para cada sección en la primera semana y otra en la

---

si realiza esta acción, deberá realizarse allí toda la medición (es decir, la medición de base y el monitoreo mientras transcurre la clase).

14. Si la calefacción se enciende luego del inicio de la clase, aumentará el nivel de CO2 por esta razón, afectando a la medición de este gas como trazador de aire respirado.

15. Por ejemplo, si se observa que la medición oscila entre 450 y 520 ppm en menos de 2 minutos, eso significa que el valor está cambiando, y que debe aguardar hasta tanto quede fijo o bien oscile levemente.

segunda; si una sección se divide en dos grupos A y B, que tiene clases en semanas alternadas, deberán realizarse mediciones en las semanas 1 y 3 para el grupo A y en las semanas 2 y 4 para el grupo B. Lo mismo debe considerarse para pasillos de circulación y otros espacios de uso común, por turno de funcionamiento.

- Se pueden realizar todas las mediciones adicionales que se consideren necesarias, ante cualquier inquietud sobre la ventilación que pueda surgir así como frente a cambios en las circunstancias que impactan en la renovación del aire (viento o temperatura, mayor cantidad de personas en el grupo, realización de actividades de intensidad diferente, etc.).

El uso correcto y periódico de los medidores de dióxido de carbono constituye una herramienta para conocer de modo riguroso como funciona la ventilación en cada aula (u otros espacios interiores de la escuela), y así hallar las alternativas que permitan el mejor equilibrio posible entre adecuada ventilación y comodidad térmica de las personas.

Por ejemplo, en días de bajas temperatura, cuando el frío condiciona la posibilidad de una mayor apertura de las aberturas, el medidor permitirá evaluar cuál es la necesidad mínima de apertura de puertas y ventanas que se requiere sostener. Asimismo, permitirá observar cuál es la temperatura dentro del aula que resulta de ese nivel de apertura y si es necesario que las personas presentes incrementen el uso de abrigos.

¿QUÉ HACER SI LA MEDICIÓN ARROJA VALORES MAYORES A 400 PPM POR ENCIMA DEL VALOR BASE?[16]

- **Como primera medida, se deben poner en marcha acciones correctivas considerando las posibilidades de ventilación del ambiente**. Principalmente, esto implica

16. Si el nivel de CO2 no varía, o lo hace levemente, con relación al valor correspondiente al aula vacía y las personas tienen demasiado frío/demasiado calor, se pueden entrecerrar un poco las ventanas, siempre teniendo en cuenta el mínimo recomendado de 5 centímetros de apertura.
Un resultado satisfactorio en la medición de CO2 en un aula no implica que se puedan relajar otras medidas de prevención de riesgo, como el distanciamiento social o el uso correcto y constante del tapabocas y nariz. Cómo se mencionó, las medidas de cuidado implican estrategias de reducción de riesgo que atacan diferentes formas de posibles contagio y, por tanto, son complementarias.

abrir las puertas y ventanas tanto como sea posible[17] y considerar que, en ocasiones, mantener una apertura permanente de las ventanas de 5 cm puede ser la solución.

- Si luego de aplicar medidas correctivas a través de la ventilación natural, se realiza una nueva medición sin resultados satisfactorios, se pueden instrumentar alternativas simples de ventilación mecánica, como colocar un ventilador en puertas o ventanas con el flujo de aire en dirección al exterior.
- En el caso de que las puertas y ventanas del aula den a un pasillo interior con poca circulación de aire o a un patio interno cerrado en los que las mediciones estén por encima del límite, se deben cerrar estas aberturas lo máximo posible, dejando solo una pequeña apertura. A la vez, hay que abrir lo más posible las puertas o ventanas que den al aire libre exterior o a otros espacios interiores bien ventilados, pudiendo utilizar ventiladores que apunten hacia allí, de modo que ayuden a la renovación del aire.
- Si no se puede mantener el nivel de CO_2 lo suficientemente bajo mientras las personas se encuentren térmicamente cómodas, se deberán evaluar otras alternativas como reducir el tiempo de duración del bloque de clases[18].
- En el caso de que las mediciones determinen que ninguna de las acciones correctivas han resultado efectivas, se requerirá un espacio alternativo para la continuidad de las clases presenciales (por ejemplo, un SUM o cualquier espacio de mayor dimensión o mejor ventilado) o limitar el número de personas que utilizan el aula (ampliando la distancia social dentro del aula).
- Existen técnicas de limpieza del aire, como la filtración[19], que si bien eliminan los aerosoles no cambian la concentración de CO2 en el ambiente. Por esta razón, en los espacios donde se filtra el aire se puede tolerar un nivel más alto de variación del CO2 (alrededor de 200 ppm adicionales). Dado que el filtrado complementa a la ventilación pero no la reemplaza, siempre es más recomendable ventilar que filtrar.

17. Para mayor información, consultar el apartado 3.1 de esta guía.
18. Por ejemplo, si a los 70 minutos de una clase, la concentración de CO2 se eleva paulatinamente y supera las 400 ppm en relación con la medición basal, se puede resolver que los integrantes de ese grupo tengan clases en bloques que no superen los 60 minutos (durante el recreo, se debe procurar la apertura total de puertas y ventanas del aula para renovar el aire). No obstante, habrá que encontrar otras alternativas si antes de los 40 minutos de clases se supera el umbral de CO2 establecido, ya que por razones pedagógicas esta es la duración mínima de una clase presencial.
19. El filtrado consiste en hacer pasar el aire mediante un ventilador mecánico, a través de una tela que retiene las partículas de un determinado tamaño (la cantidad y los tamaños de las partículas que se retienen dependen de las características de la tela del filtro). Los filtros tipo Hepa son los más recomendados.

ASESORAMIENTO TÉCNICO

La Dirección de Calidad Laboral y Medio Ambiente del Trabajo, dependiente de la Dirección General de Cultura y Educación, brinda asistencia técnica para las mediciones de CO2 en las escuelas.

Los establecimientos educativos podrán comunicarse con los equipos técnicos de esta dirección frente a cualquier consulta relacionada con el uso y el funcionamiento de los dispositivos. Asimismo, se les brindará asesoramiento específico frente a los problemas que se hayan presentado con la ventilación de las aulas, articulando en caso de resultar necesario, con los equipos de inspectores de infraestructura y/o expertos en ventilación y tratamiento del aire.

Teléfono/WhatsApp: +54-9-221-593-4484

Correo electrónico medicionesco2@abc.gob.ar.

La ventilación es una medida complementaria de prevención y es efectiva si además se mantienen las otras medidas de cuidado.

Por tanto, si la medición realizada indica que el aula está bien ventilada, esto NO debe interpretarse como que es posible flexibilizar las otras pautas de cuidado.

Siempre debe mantenerse la distancia social (dentro el aula, de 1,5 metros entre estudiantes y de 2 metros entre docente y estudiantes, y fuera del aula, de 2 metros), evitar interacciones con otros grupos de estudiantes, usar en forma correcta y permanente el tapaboca y nariz, higienizarse las manos y limpiar superficies y objetos, entre otras.

Bibliografía:

- Allen J, Spengler J, Jones E, Cedeno-Laurent J. Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas. Harvard Healthy Buildings program, agosto, 2020.
- ATECYR. Recomendaciones de actuación para la mejora de la ventilación en los sistemas de climatización y saneamiento de los centros educativos, Madrid.
- Cahn F, Castro R, Cordo S, Jimenez JL, Montanari J, Pérez Filgueira M, Pineda Rojas A, Santini MS. Prevención del contagio de COVID-19 por SARS-CoV-2. Red Argentina de Investigadoras e Investigadores de Salud. POSTNOTE, 001, Octubre 2020.
- Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (Gobierno de España), IDAEA-CSIC y Mesura. Guía para ventilación en aulas. Noviembre de 2020.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - Ministerio de Salud. Recomendaciones para la prevención de transmisión de COVID-19 por aerosoles, Buenos Aires, marzo de 2021, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles-2021.pdf
- Persily A, de Jonge L. Carbon dioxide generation rates for building occupants. Indoor Air. 2017;27:868–879. https://doi.org/10.1111/ina.12383
- Rubinstein N, Aliaga J, Pineda Rojas A, Cordo S, Castro R, Cahn F, Útges ME, Pérez Filgueira M. Guía práctica para ventilar manualmente la escuela. Red Argentina de Investigadoras e Investigadores de Salud, 2020.

  https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_para_ventilar_la_escuela.pdf



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
Argentina

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, CIENCIA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA | MINISTERIO DE SALUD | DIRECCIÓN GENERAL DE CULTURA Y EDUCACIÓN



GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES



Ministerio de Educación
Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HURLINGHAM